

Pengaruh Perlakuan Alkali terhadap Sifat Tarik Bahan Komposit Serat Rami-Polyester

Kuncoro Diharjo

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Sebelas Maret
E-mail: kuncorodiharjo@uns.ac.id

ABSTRAK

Komposit alam (NACO) adalah material yang memiliki potensi yang baik untuk dikembangkan di Indonesia. *Mechanical bonding* komposit yang diperkuat serat alam dapat ditingkatkan dengan perlakuan kimia serat atau menggunakan *coupling agent*. Perlakuan kimia, seperti perlakuan alkali, sering digunakan karena lebih ekonomis. Tujuan penelitian ini adalah menyelidiki pengaruh perlakuan alkali terhadap sifat tarik komposit berpenguat serat rami kontinyu dengan matrik poliester. Pengamatan visual dilakukan untuk menyelidiki mekanisme perpatahan. Serat rami direndam di dalam larutan alkali (5% NaOH) selama 0, 2, 4, dan 6 jam. Selanjutnya, serat tersebut dicuci menggunakan air bersih dan dikeringkan secara alami. Matrik yang digunakan dalam penelitian ini adalah resin unsaturated polyester 157 BQTN dengan hardener MEKPO 1% (v/v). Komposit dibuat dengan metode cetak tekan pada $V_f \approx 35\%$. Semua spesimen dilakukan post cure pada suhu 62 °C selama 4 jam. Spesimen uji tarik dibuat mengacu pada standar ASTM D-638. Pengujian tarik dilakukan dengan mesin uji tarik dan perpanjangan diukur dengan menggunakan *extensometer*. Penampang patahan diselidiki untuk mengidentifikasi mekanisme perpatahannya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan dan regangan tarik komposit memiliki harga optimum untuk perlakuan serat 2 jam, yaitu 190.27 Mpa dan 0.44%. Komposit yang diperkuat serat yang dikenai perlakuan 6 jam memiliki kekuatan terendah. Penampang patahan komposit yang diperkuat serat perlakuan 0, 2, dan 4 jam diklasifikasikan sebagai jenis patah *slitting in multiple area*. Sebaliknya, penampang patahan komposit yang diperkuat serat perlakuan 6 jam memiliki jenis patah tunggal. Penampang patahan komposit yang diperkuat serat tanpa perlakuan menunjukkan adanya fiber pull out.

Kata kunci: Perlakuan alkali, serat rami, unsaturated polyester, sifat tarik.

ABSTRACT

The Natural Composite (NACO) is material that has a good potential to be developed in Indonesia. The mechanical bonding of the composite reinforced natural fiber can be increased by using chemical treatment of fiber or by using the addition of coupling agent. The chemical treatment, for example alkali treatment, is often used because it is more economic. The objective of this research is to investigate the effect of alkali treatment to the tensile properties of unidirectional continuous ramie fiber reinforced polyester composite. Visual inspections were performed to assess the mechanism of fracture. The ramie fiber was immersed in the alkali solution (5% NaOH for 0, 2, 4, and 6 hours. And then, it was washed using fresh water and dried naturally. The matrix used in this research is unsaturated polyester resin 157 BQTN with MEKPO hardener 1% (v/v). The composites were made by using press mold method for $V_f \approx 35\%$. All specimens were post cured at 62 °C for 4 hours. The tensile test specimens were produced according to ASTM D-638. The tensile test was carried out on a tensile testing machine and the elongation was measured using an extensometer. The fracture surface was investigated to identify the mechanism of fracture. The result shows that the tensile strength and strain of the composites have the optimum values for 2 hours treated fiber, i.e. 190.27MPa, and 0.44% respectively. The longer time of the alkali treatment of fiber increases its modulus. The composite prepared by 6 hours treated fiber has the lowest strength. The fracture surfaces of the composites prepared by 0, 2, and 4 hours alkali treated type are classified as splitting in multiple area. In contrast, the fracture of the composite prepared by 6 hours treated fiber has single fracture type. The fracture surface of the composite reinforced untreated fiber shows fiber pull out.

Keywords: Alkali treatment, ramie fiber, unsaturated polyester, tensile properties.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi komposit saat ini sudah mulai mengalami pergeseran dari bahan komposit berpenguat serat sintetis menjadi bahan komposit berpenguat serat alam. Teknologi komposit pun sebenarnya mencontoh komposit alam yang sudah ada sebelumnya [1]. Sebagai contoh, PT. Toyota di Jepang telah memanfaatkan bahan komposit berpenguat serat kenaf sebagai komponen panel interior mobil jenis sedan. Selain itu, produsen mobil *Daimler-Benz* pun telah memanfaatkan serat abaca sebagai penguat bahan komposit untuk *dashboard*. Pergeseran trend teknologi ini dilandasi oleh sifat komposit berpenguat serat alam yang lebih ramah lingkungan. Komposit ini juga memiliki rasio kekuatan dengan *density* yang tinggi sehingga komponen yang dihasilkan lebih ringan. Para industriawan menggunakan komposit tersebut sebagai produk unggulan sesuai dengan keistimewaannya.

Walaupun tak sepenuhnya menggeser serat sintetis, pemanfaatan serat alam yang ramah lingkungan merupakan langkah bijak untuk menyelamatkan kelestarian lingkungan. Tanaman rami (*Boehmeria Nivea*) merupakan salah satu jenis tanaman serat (*bast fiber*) yang tumbuh subur di Indonesia, seperti di daerah Garut Jawa Barat dan Wonosobo Jawa Tengah. Hingga saat ini, mayoritas produk serat rami tersebut diekspor ke Jepang, seperti yang dilakukan oleh Koppontren Darussalam Garut. Produk serat rami juga digunakan sebagai bahan tekstil dan kertas. Menurut Eichhorn et. al. [2] produksi rami dunia telah mencapai 100.000 ton per tahun, lebih tinggi dari produksi serat abaca yang hanya mencapai 70.000 ton per tahun.

Permasalahan selanjutnya yang muncul adalah "bagaimana meningkatkan ikatan (*mechanical bonding*) antara serat dan matrik (perekat)". Menurut beberapa sumber literatur/pustaka yang ada, peningkatan kekuatan komposit serat alam dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu dengan memberikan perlakuan kimia serat atau dengan penambahan *coupling agent* [3]. Perlakuan kimia serat yang sering dilakukan adalah perlakuan alkali seperti NaOH, karena lebih ekonomis.

Uraian tersebut menunjukkan bahwa serat rami memiliki potensi yang sangat besar untuk digunakan di bidang rekayasa, khususnya sebagai penguat bahan baru komposit. Sifat mekanis komposit tersebut dapat ditingkatkan dengan perlakuan alkali (NaOH) serat. Hasil penelitian ini diharapkan dapat mengilhami para peneliti selanjutnya untuk mengkaji pemanfaatan berbagai serat alam sebagai penguat komposit.

Pada penelitian ini menyelidiki pengaruh perlakuan alkali terhadap peningkatan sifat tarik bahan komposit berpenguat serat rami kontinyu

searah dengan matrik *unsaturated polyester*. Karakteristik mekanisme patahannya diamati dengan menggunakan foto makro.

Hasil penelitian awal yang dilakukan oleh Marsyahyo [4] menunjukkan bahwa diameter serat rami (jenis rami Cina super) dari Garut adalah sekitar 0.034 mm. Menurut Mueller dan Krobjilobsky [5], massa jenis serat rami adalah 1.5 – 1.6 gr/cm³ dan kekuatan tarik serat rami berkisar 400 – 1050 MPa. Modulus elastisitas dan regangannya adalah sekitar 61.5 GPa dan 3.6%. Umumnya, serat rami memiliki diameter sekitar 0.04 – 0.08 mm.

Menurut Diharjo dan Nuri [6], kekuatan tarik komposit serat rami-poliester memiliki hasil eksperimen lebih rendah dibandingkan dengan kekuatan minimal hasil analisis teoritis (ROM). Kekuatan tarik komposit hasil eksperimen tertinggi adalah 205.36 MPa pada $V_f = 54.10\%$. Modulus elastisitas komposit serat rami - poliester memiliki harga tertinggi (47.88 GPa) pada $V_f = 54.10\%$. Penampang patahan dikalsifikasikan sebagai jenis patah banyak (*splitting in multiple area*) yang disertai oleh adanya *fiber pull out*.

Kekuatan tarik, modulus elastisitas, dan regangan tarik komposit yang diperkuat serat kenaf acak bermatrik poliester pada fraksi volume serat (V_f) 32.39 adalah 59.03 MPa, 8.75 GPa, dan 0.728%. Sifat tarik tersebut masing-masing meningkat 107.8%, 51.91%, dan 37.36% dibandingkan dengan komposit pada $V_f = 13.18\%$ [7].

Peningkatan sifat tarik komposit kenaf-poliester dapat meningkat signifikan dengan substitusi penguat serat kontinyu searah. Komposit, yang diperkuat serat kenaf kontinyu searah bermatrik poliester pada $V_f = 51.91\%$, memiliki kekuatan tarik 216.8 MPa dan modulus tarik 26.79 GPa. Penampang patahan komposit tersebut mengindikasikan patahan tipe *splitting in multiple area* [8]. Sifat tarik komposit tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan hasil riset yang dilakukan oleh Raharjo et. al. [8], yaitu kekuatan dan modulus tarik komposit kenaf kontinyu searah-poliester pada $V_f = 60\%$ adalah 157 MPa dan 20 GPa. Faktor yang menyebabkan perbedaan kedua hasil penelitian tersebut dapat disebabkan oleh perbedaan tempat tumbuhnya tanaman kenaf, perbedaan kadar air serat saat dilakukan pencetakan, atau faktor-faktor lainnya.

Sifat-Sifat Tarik Komposit

Salah satu faktor penting yang menentukan karakteristik dari komposit adalah perbandingan matrik dan penguat/serat. Perbandingan ini dapat ditunjukkan dalam bentuk fraksi volume serat (V_f) atau fraksi berat serat (W_f). Namun, formulasi kekuatan komposit lebih banyak menggunakan fraksi volume serat. Menurut Roe dan Ansel [9], fraksi volume serat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$v_f = \left[V_C - \left(\frac{M_C - M_f}{Q_M} \right) \right] / V_C \quad (1)$$

Jika selama proses pembuatan komposit diketahui massa serat dan matrik, serta *density* serat dan matrik, maka fraksi volume dan fraksi massa serat dapat dihitung dengan persamaan [10]:

$$v_f = \frac{\frac{W_f}{\rho_f}}{\frac{W_f}{\rho_f} + \frac{W_M}{\rho_M}} \quad (2)$$

$$w_f = \frac{\rho_f V_f}{\rho_f V_f + \rho_M V_M} \quad (3)$$

Fraksi massa serat pada persamaan 3 dapat disederhanakan menjadi [11]:

$$w_f = \frac{W_f}{W_C} \quad (4)$$

Analisis kekuatan komposit biasanya dilakukan dengan mengasumsikan ikatan serat dan matrik sempurna. Pergeseran antara serat dan matriks dianggap tidak ada dan deformasi serat sama dengan deformasi matrik. Kekuatan tarik dapat dihitung dengan persamaan:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (5)$$

Regangan dapat dihitung dengan persamaan:

$$\varepsilon = \frac{l_i - l_o}{l_o} = \frac{\Delta l}{l_o} \quad (6)$$

Berdasarkan kurva uji, modulus elastisitas dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$E = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \varepsilon} \quad (7)$$

Berdasarkan the *Rule of Mixture* (ROM), kekuatan dan modulus tarik komposit berpenguat serat searah kontinyu dapat dihitung dengan persamaan [12]:

$$\sigma_C = \sigma_f v_f + \sigma_m v_m \quad (8)$$

$$E_C = v_f E_f + (1 - v_f) E_m \quad (9)$$

METODE PENELITIAN

Serat rami kontinyu diperoleh dari Pondok Pesantren Agrobisnis Darussalam di Kabupaten Garut Jawa Barat. Serat rami yang masih mengandung lignin dan kotoran tersebut dibersihkan dengan menggunakan air. Serat yang sudah bersih direndam di dalam larutan alkali (5% NaOH) dengan variasi waktu perendaman 0, 2, 4, dan 6

jam. Selanjutnya serat dinetralkan dari efek NaOH dengan perendaman menggunakan air bersih. Setelah PH rendaman netral (PH = 7), serat ditiriskan hingga kering tanpa sinar matahari. Bahan matrik yang digunakan adalah unsaturated poliester (UPRs) 157 BQTN, yang disuplai oleh PT. Justus Kimia Raya Jakarta. Hardener yang dipakai adalah MEKPO (*metil etil keton peroksida*) dengan kadar 1% (v/v).

Komposit dibuat dengan metode cetak tekan untuk fraksi volume serat (V_f) sekitar 35%. Spesimen uji tarik dibuat dari pelat komposit hasil cetakan, yang dipotong dengan menggunakan gerinda tangan. Efek pemotongan dieliminasi dengan dihaluskan menggunakan kertas amplas. Spesimen tersebut dibuat sesuai dengan standar ASTM D-638 [13]. Bagian spesimen yang akan dicekam mesin uji tarik diberi *tab* dari kertas amplas. Semua sepesimen dilakukan *post cure* pada suhu 62 °C selama 4 jam.

Pengujian tarik dilakukan menggunakan mesin uji tarik *Servopulser*. Setiap spesimen dipasang peralatan tambahan hasil rekayasa untuk menempatkan *extensometer*, sehingga perpanjangan yang terukur adalah sepanjang *gage length* (50 mm). Hasil akhir penelitian ini akan ditampilkan dalam bentuk hubungan antara sifat tarik (kekuatan, modulus dan regangan) versus V_f . Penampang patahan dilakukan foto makro untuk menyelidiki perilaku mekanisme perpatahannya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat Tarik Komposit Rami-UPRs

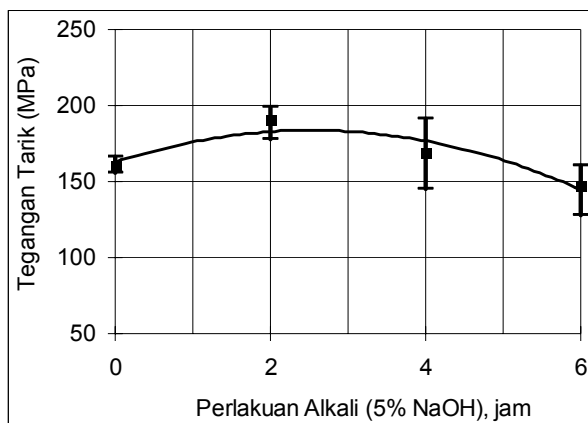
Berdasarkan data hasil pengujian pada Tabel 1, kekuatan dan regangan tarik yang paling optimum dimiliki oleh bahan komposit yang diperkuat serat rami dengan perlakuan alkali 2 jam. Modulus elastisitas komposit semakin meningkat seiring dengan penambahan waktu perlakuan alkali serat rami.

Tabel 1. Sifat tarik komposit rami-UPRs.

Perlakuan Alkali (5% NaOH)	Teg. Tarik, MPa	Reg. %	Mod. El. GPa
0 jam	160.298	0.42	39.179
2 jam	190.270	0.44	45.795
4 jam	169.253	0.39	43.427
6 jam	147.099	0.31	48.166

Komposit rami-UPRs memiliki kekuatan tarik tertinggi pada perlakuan 5% NaOH serat selama 2 jam, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan 5% NaOH tersebut merupakan perlakuan yang paling efektif untuk meningkatkan kekuatan komposit berpenguat serat rami. Pada komposit yang diperkuat dengan serat tanpa perlakuan, maka ikatan

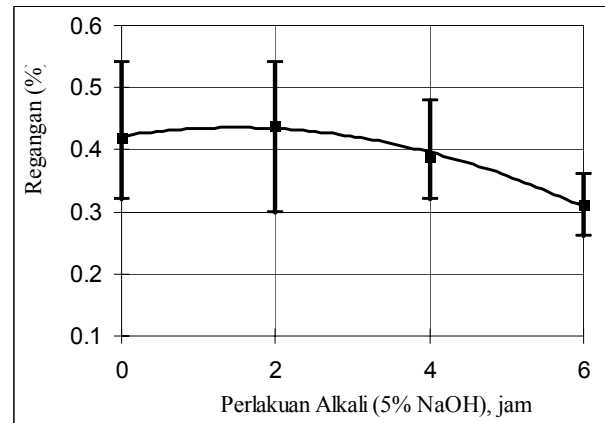
(*mechanical bonding*) antara serat dan UPRs menjadi tidak sempurna karena terhalang oleh adanya lapisan yang menyerupai lilin di permukaan serat. Perlakuan NaOH ini bertujuan untuk melarutkan lapisan yang menyerupai lilin di permukaan serat, seperti lignin, hemiselulosa, dan kotoran lainnya. Dengan hilangnya lapisan lilin ini maka ikatan antara serat dan matrik menjadi lebih kuat, sehingga kekuatan tarik komposit menjadi lebih tinggi. Namun, perlakuan NaOH yang lebih lama dapat menyebabkan kerusakan pada unsur selulosa. Padahal, selulosa itu sendiri sebagai unsur utama pendukung kekuatan serat. Akibatnya, serat yang dikenai perlakuan alkali terlalu lama mengalami degradasi kekuatan yang signifikan. Sebagai akibatnya, komposit yang diperkuat serat rami dengan perlakuan alkali yang lebih lama memiliki kekuatan yang lebih rendah.



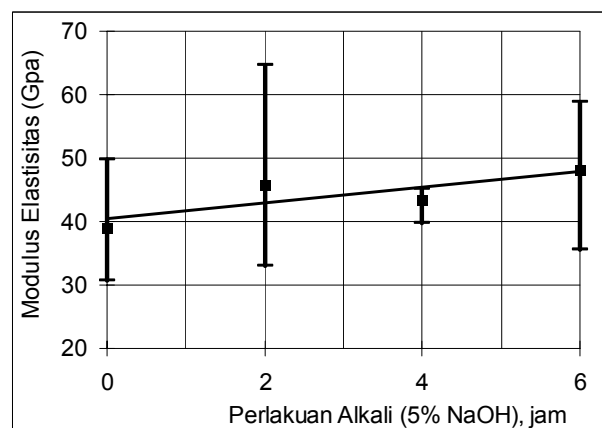
Gambar 1. Kurva Hubungan Tegangan vs Perlakuan Alkali (5% NaOH) Serat

Regangan bahan komposit berpenguat serat rami juga menunjukkan adanya optimasi perlakuan 5% NaOH serat. Gambar 2 menunjukkan bahwa perlakuan NaOH selama 2 jam merupakan perlakuan yang paling optimum. Pada komposit yang diperkuat serat rami tanpa perlakuan, kegagalan didominasi oleh lepasnya ikatan antara serat dengan matrik yang diakibatkan oleh tegangan geser di permukaan serat. Kegagalan tersebut didominasi oleh lepasnya ikatan serat dan matrik. Jenis kegagalan ini sering disebut dengan istilah "*fiber pull out*". Pada kondisi kegagalan ini, matrik dan serat sebenarnya masih mampu menahan beban dan meregang yang lebih besar. Namun, berhubung ikatan antara serat dan matrik gagal, maka komposit pun mengalami kegagalan lebih awal. Besarnya regangan dan tegangan ketika gagal juga menjadi lebih rendah. Dengan memberikan perlakuan NaOH serat, maka ikatan antara serat dan matrik menjadi lebih kuat sehingga kegagalan dapat terjadi secara bersama-sama. Besarnya tegangan dan regangan yang terjadi akan mengalami peningkatan.

Berdasarkan uraian di atas, jika perlakuan NaOH terlalu lama maka serat mengalami degradasi kekuatan. Besarnya tegangan dan regangan yang mampu ditahan oleh komposit menjadi menurun.



Gambar 2. Kurva Hubungan Regangan vs Perlakuan Alkali (5% NaOH) Serat



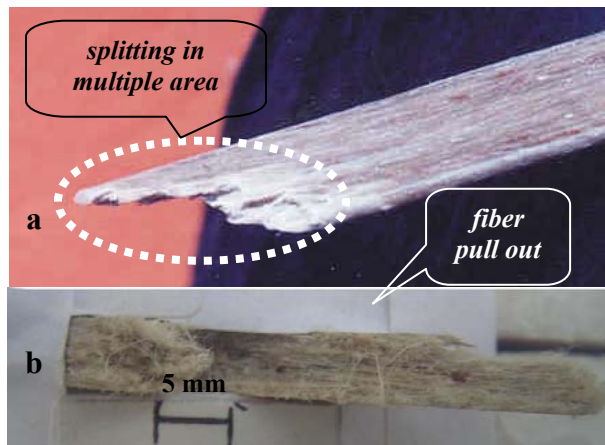
Gambar 3. Kurva Hubungan Modulus Elastisitas vs Perlakuan Alkali (5% NaOH) Serat

Berhubung perlakuan NaOH serat memberikan karakteristik kurva tegangan dan regangan yang mirip, maka modulus elastisitasnya pun akan memiliki trend perubahan. Gambar 3 menunjukkan bahwa modulus elastisitas bahan komposit rami - UPRs mengalami peningkatan seiring dengan penambahan waktu perlakuan NaOH serat. Peningkatan ini dipengaruhi oleh penurunan kurva regangan yang lebih tajam dibanding penurunan kurva tegangan (khusus pada perlakuan NaOH lebih dari 2 jam), seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Penurunan tersebut didominasi oleh efek degradasi sifat mekanis serat yang disertai oleh semakin sempurnanya ikatan antara serat dengan matrik. Dengan demikian, perlakuan NaOH serat yang lebih lama menurunkan elastisitas serat. Bahkan perlakuan tersebut dapat menyebabkan serat menjadi rapuh.

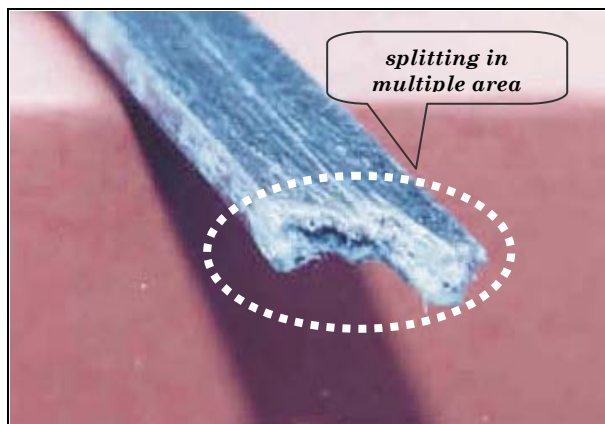
Penampang Patahan

Mengacu pada standar ASTM D-3039 [13] tentang jenis-jenis patahan, maka patahan komposit berpenguat serat rami tanpa perlakuan dan dengan perlakuan 5% NaOH selama 2 jam, dapat diklasifikasikan sebagai jenis patahan banyak (*splitting in multiple area*), seperti pada Gambar 4 dan 5. Kegagalan terjadi pada area yang luas di permukaan spesimen. Umumnya, komposit yang memiliki patahan jenis ini memiliki kekuatan tarik tinggi. Pengamatan penampang patahan komposit yang diperkuat serat tanpa perlakuan menunjukkan adanya dominasi mekanisme patahan *fiber pull out*.

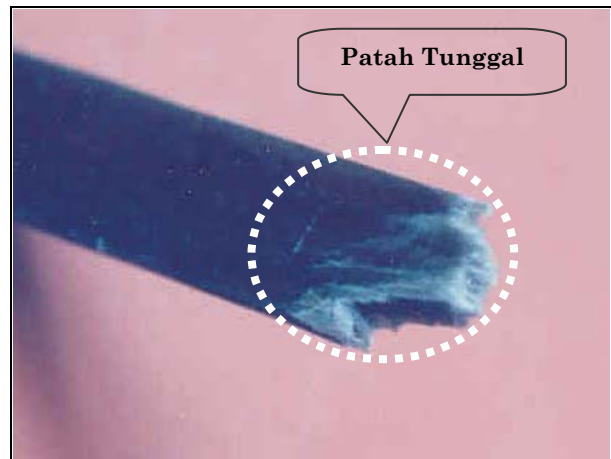
Pada permukaan patahan komposit yang diperkuat serat dengan perlakuan 5% NaOH selama 2 jam, perilaku kegagalan *fiber pull out* masih tampak dalam jumlah sedikit, seperti pada gambar 5. Perilaku kegagalan *fiber pull out* sudah tidak tampak lagi pada komposit yang diperkuat serat dengan perlakuan NaOH selama 6 jam, seperti pada Gambar 6. Jenis patahan pada komposit yang diperkuat serat rami dengan perlakuan 5% NaOH selama 6 jam sudah mendekati jenis patahan tunggal.



Gambar 4. Patahan Komposit yang Diperkuat Serat Rami Tanpa Perlakuan.



Gambar 5. Patahan Komposit yang Diperkuat Serat Rami dengan Perlakuan 5% NaOH Selama 2 jam



Gambar 6. Patahan Komposit yang Diperkuat Serat Rami dengan Perlakuan 5% NaOH Selama 6 jam.

Berdasarkan analisis ini maka dapat dikatakan bahwa kompatibilitas ikatan antara serat rami dan matrik unsaturated polyester memiliki harga optimum jika serat dikenai perlakuan 5% NaOH selama 2 jam.

Komparasi dengan Riset Sebelumnya

Analisis komparasi hasil eksperimen dengan hasil riset sebelumnya yang dihasilkan oleh Diharjo dkk. [8] menunjukkan bahwa bahan komposit rami-UPRs (tanpa perlakuan) memiliki kekuatan tarik (160.298 MPa pada $V_f \approx 35\%$) yang hampir sama dengan bahan komposit kenaf-UPRs (120.1 MPa pada $V_f = 29\%$ dan 162.4 MPa pada $V_f = 45\%$). Jika dilakukan analisis regresi linier pada komposit kenaf-UPRs, maka tegangan tarik komposit rami-UPRs pada $V_f \approx 35\%$ lebih tinggi dibandingkan dengan komposit kenaf UPRs. Perbedaan kekuatan tarik tersebut dapat dikatakan tidak signifikan. Faktor-faktor lain yang menjadikan ketidakakuratan kekuatan komposit serat kontinyu adalah kesulitan mengatur serat kontinyu tetap lurus selama proses pencetakan. Dengan mengabaikan faktor tersebut di atas, maka kekuatan tarik komposit serat rami-UPRs lebih tinggi dibanding komposit kenaf-UPRs.

Sebaliknya, modulus elastisitas komposit rami-UPRs justru memiliki harga yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan komposit kenaf-UPRs yang diteliti oleh Diharjo [3]. Komposit rami UPRs memiliki modulus 39.179 GPa pada $V_f \approx 35\%$, sedangkan bahan komposit kenaf-UPRs mempunyai modulus elastisitas 16.05 GPa pada $V_f = 29\%$ dan 15.58 GPa $V_f = 45\%$. Secara teoritis, sifat tarik bahan berpengaruh dominan terhadap sifat tarik bahan komposit yang diperkuat serat kontinyu dengan orientasi 0° . Modulus elastisitas komposit yang lebih tinggi dapat disebabkan oleh rendahnya regangan serat.

Berdasarkan hasil analisis tersebut di atas, maka dapat disimpulkan bahwa penggunaan serat rami sebagai penguat bahan komposit memiliki potensi yang cukup besar untuk diaplikasikan.

KESIMPULAN

Hasil penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Komposit yang diperkuat serat rami dengan perlakuan 5% NaOH selama 2 jam memiliki kekuatan tarik dan regangan terbesar, yaitu $\sigma = 190.27$ MPa dan $\epsilon = 0.44\%$.
2. Semakin lama perlakuan serat rami, maka modulus elastisitas kompositnya pun meningkat
3. Patahan komposit yang diperkuat serat rami tanpa perlakuan dan dengan perlakuan 5% NaOH selama 2 jam dapat dikalsifikasikan sebagai jenis patah banyak (*splitting in multiple area*).
4. Penampang patahan komposit yang diperkuat serat rami tanpa perlakuan didominasi perilaku kegagalan *fiber pull out*. Namun pada komposit yang diperkuat serat dengan perlakuan 5% NaOH, penampang patahannya mengindikasikan tanpa adanya *fiber pull out*.

NOTASI

A	: luas penampang, mm ²
E	: modulus elastisitas, GPa
E _f , E _m	: modulus elastisitas serat dan matrik, GPa
M _C , M _f	: massa komposit dan serat, kg
l _i	: panjang ukur setelah pengujian, mm
l _o	: panjang ukur sebelum pengujian, mm
P	: beban, N)
Q _M	: density matrik, gr/cm ³
v _f , w _f	: fraksi volume dan berat serat
V _C	: volume komposit,
W _f , W _M	: Massa serat dan matrik
$\Delta\sigma$: selisih tegangan tarik di daerah elastis (MPa),
ϵ	: regangan
$\Delta\epsilon$: selisih regangan di daerah elastis
ρ_f , ρ_m	: densitas serat dan matrik, gr/cm ³
σ	: kekuatan tarik, MPa
σ_f	: kekuatan tarik serat, MPa
σ_m	: kekuatan tarik matrik, MPa

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada saudara Sunu Purwoko, S.T. yang telah banyak membantu bekerja melakukan pengambilan data penelitian, sebagai bahan skripsi.

DAFTAR PUSTAKA

1. Sumardi T.P., Zulfa A., Basukriadi A., Raditya D., dan Rahman F., *Rekayasa dan Manufaktur bahan Komposit berpenguat Serat Limbah Pisang Sebagai bahan Interior Otomotif dan pesawat terbang*, Hibah Bersaing X, DP3M-Dikti, Jakarta. 2003.
2. Eichhorn S.J., Zafeiropoulos C.A.B.N., Ansel L.Y.M.M.P., Entwistle K.M., Escamilla P.J.H.F. G.C., Groom L., Hill M.H.C., Rials T.G., dan Wild P.M., *Review Current International Research into Cellulosic Fibres and Composites*, Journal of materials Science, 2001, pp. 2107-2131.
3. Diharjo K., Jamasri, Soekrisno, Rochardjo H. S. B., *Tensile Properties of Random kenaf Fiber Reinforced Polyester Composite*, National Seminar Proceeding, Center of Inter University, UGM, Yogyakarta, Indonesia. 2005.
4. Marsyahyo M, Soekrisno, Jamasri, Rochardjo H.S.B., Penelitian Awal Pengaruh Perlakuan Alkali Terhadap Kekuatan Tarik dan Model Perpatahan Serat tunggal Ramie, Prosiding Seminar Nasional, SNTTM-IV, UNUD, Bali, Indonesia. 2005.
5. Mueller D. H. dan Krobjilowski A, "New Discovery in The Properties of Composites Reinforced With Natural Fiber", *Jurnal of Industrial Textiles*, Vol. 33, No. 2-October 2003, pp. 111-130.
6. Diharjo K. dan Nuri S.H., *Studi Sifat Tarik Bahan Komposit Berpenguat Serat Rami Dengan Matrik Unsaturated Poliester*, Prosiding Seminar Nasional, Teknik Mesin FT Univ. Petra-Surabaya. 2006.
7. Diharjo K., Jamasri, Soekrisno, Rochardjo H. S. B., *Tensile Properties of Unidirectional Continuous Kenaf Fiber Reinforced Polyester Composite*, International Seminar Proceeding, Ketingan Physics Forum, UNS, Surakarta, Indonesia. 2005.
8. Diharjo K., Jamasri, Soekrisno, Rochardjo H. S. B., *The Flexural and Impact Properties of Random and Woven kenaf Fiber Reinforced Polyester Composite*, Prosiding SNTTM-IV, Hotel Patra, UNUD, Bali, November 2005.
9. Roe P.J. dan Ansel M.P., "Jute-reinforced polyester Composites", UK., *Journal of Materials Science* 20, 1985. pp. 4015-4020.
10. Shackelford, *Introduction to Materials science for Engineer*, Third Edition, MacMillan Publishing Company, New York, USA. 1992.
11. Kaw A.K., *Mechanics of Composite materials*, CRC Press, New York. 1997.
12. Sanadi A. R., Prasad S. V., and Rohatgi P. K., Sunhemp Fibre-Reinforced Polyester, Part 1. Analysis of Tensile and Impact Properties, *Journal of materials Science, Department of Materials Science*, Washington State University, Washington, USA, 1986. pp. 4299-4304,
13. ASTM, "Annual Book of ASTM Standard", West Conshohocken, 2003.